

段ボール安土城の製作過程

The Making Process of the Corrugated Paper Castle —Azuchi Castle—

高木 章広[†]

森 豪^{††}

Akihiro TAKAGI

Tsuyoshi MORI

Abstract This paper deals with the making process of the corrugated paper castle, Azuchi Castle, which is made by the student members of the LA・BASE(Architecture research group of the Architecture department). They worked as the art group to make the movie, *Raise the Castle*. The movie's main theme is to make Sanage Castle of corrugated paper. It is not always necessary to make the whole of the castle by using corrugated paper when making the movie. But the members of the LA・BASE tried to make the whole of Azuchi Castle only by using corrugated paper. This is the record of their challenge. They met various troubles because corrugated paper is not good as a material to make the castle. But they overcame those troubles with their teammates.

1. はじめに

愛知工業大学は、2009年に開学50周年を迎え、その記念事業として、映画「築城せよ!」を製作し、一般劇場公開した。

映画「築城せよ!」は、現代の過疎の町に蘇った戦国武将が、町の人々と力を合わせて段ボールによる築城をめざすという奇想天外な内容の映画である。企画の段階から、内容について不安があった。愛知工業大学は、ハイテク研究と教育を標榜し、科学的思考に立脚した大学である。その大学が、非科学的な「魂の蘇り」を扱う内容の映画を製作してもよいのか、ということである。これはファンタジーであり、この世の中には、科学で実証し切れないものがあるから、これはこれとして受け入れてもらえるのではないかと、思った。しかし気になり、不安感が消えない。消えない中で、浮かびあがってきた

ひとつのアイデアがあった。そのアイデアは、もう一つの気がかりに関わっていた。

もう一つの気がかりとは、映画で戦国武将たちが築城するのは、段ボールの城であることだった。段ボールで城は建つのだろうか。

映画では建つことになっていた。映画では、映像になる部分の城でよかった。ハリボテ形式でなく、本当に段ボールで城が建つのかどうか、疑問であった。段ボールで建つと言うのであるならば、本当に建つのかどうか、工学的に実証研究することがもう一方にあるのであれば、「魂の蘇り」という非科学的な部分があっても、「工業大学らしい」と受け止めてもらえるかもしれない。

そこで、実際に段ボールだけで城が建つのかどうか、工学的に実証研究をすることにした。本稿は、その研究報告である。

2. 段ボール安土城製作過程

2008年2月2日に愛知工業大学内で、後藤泰之学長

[†] 長谷工コーポレーション(東京都港区)

^{††} 愛知工業大学総合教育教室(豊田市)

が出席して、映画製作のキックオフ大会が開催された。全学的取り組みが宣言されたのである。映画製作であるので、メディア系の学生たちが多くの役割を担うことになるのは当然であるが、映画「築城せよ！」は、築城がテーマであり、建築系の学生の役割も大きくなると予想できた。建築系の学生のなかでも、組織的にまとまりをもって存在したのは、愛知工業大学建築研究会(LA・BASE)であった。

建築研究会は、建築学科で学科横断的に自主的な意志で参加した学生で組織されていた。一種のサークルといってもよい。この建築研究会が、映画制作の美術部を担当することになった。映画の撮影が進むにつれて、エキストラとして撮影参加をすることにもなるが、基本は美術部であり、その中心的な仕事は段ボールによる築城であった。

キックオフ大会が終わって、徐々に製作体制が本格化してゆくに従い、建築研究会では、この映画の監督の古波津陽監督とメールを使用して、シナリオ上で描かれた城の構造と時代背景、建築学科の学生としての知識レベルなど、シナリオにリアリティを持たせるための検証を行った。

そして段ボール研究では、簡易的に格子状に組んだ段ボールの台を作り、その上に乗って強度を確かめた。この実験結果は、床の上に段ボールの台を置いて乗った時は潰れなかったが、両端のみを固定して 8cm ほど段ボールの台を浮かして乗てみると、見事に破壊した。段ボールは、所詮紙の板であった。

不安がよぎった。段ボールで城は建つのか。不安なままであったが、工学的に段ボール城築城の可能性を探るという試みに意義があることを信じて、船出した。以下にその試みのプロセスについて報告したい。

2・1 工学的実験のための段ボール模型製作

工学実験の目的は、築城である。まず城の模型を作る必要があった。小さいミニチュアの模型を作ることを考えたが、「少し大きめのものを作らないと、感覚が分からない」という意見が出た。次に、せっかく作るのであれば、人が中に入れるほどの大きさの城を作って、映画の宣伝も兼ねて大学祭で展示しようという意見が出たので、その方向で話を進めることになった。そして金物とかは使わず、全て段ボールで作って、本当に作れるという事を証明する事とした。人が入るためには、最低 3m の高さは必要であった。また、シナリオの中で、主人公のナツキのセリフで、「上の方に十人以上乗ると崩れるかも」というのがあったので、目標設定は 10 人とした。しかし、簡易的に行った先行実験結果からは、実際に作

れるかどうかは未知の世界であった。この日から、4 ヶ月間に及ぶ構造実験が始まった。

2・2 究極の床材—格子状に組んだ段ボール—

まず「10 人乗っても壊れない強度」を得ることを目標に掲げた。段ボール製の床材を製作するにあたって、段ボールの特性から知る必要がある。

段ボールは、ライナーと呼ばれる薄い紙と、中芯と呼ばれる波々の紙から構成されている。中芯を、ライナーで挟み込む形状である。中芯の並々の高さにもさまざまあり、この中芯の密度をフルートと言う。段ボールの強度は、中芯の波が見える方向に対して垂直方向にかかる荷重には弱く、波の見える方向にかかる荷重には強い。段ボール箱の蓋などは、中芯を互い違いに重ね合わせる事で、段ボールの強度を保っている。

新しい床材の実験に入る前に、先行して行った、簡易的な強度実験の検証を行った。

最初に作った段ボールの台は、5mm 厚の段ボールを高さ 15cm 程に帯状に切り、中芯の方向を縦にして格子状に組んだ。それを床に置いた状態では、上に人が乗る事ができる。それは、上に記した段ボールの特性にもあるように、中芯の波が見える方向には強いからである。しかし、それを浮かせて、その上に人を乗せるとどうなるか。部材というのは、荷重がかかるとたわむ性質を持つ。今回の場合、部材を浮かせた事によりたわみが生じ、部材の下側に引張力が生じた。そして、格子状に合わせるために段ボールに入れた切れ目から、部材の破壊へと繋がった。また、浮かせると、波と波の間が裂け易くなる事も破壊した要因と考えられる。



図 1 格子状に組んだ段ボール

そこで、この格子状の台を改良したものを製作した。改良した点としては、

① 中芯の方向を縦だけではなく、縦と横を交互にして格子状に組んだ。

→たわみによって部材が避けるのを防ぐ。

② 段ボール一枚の高さを、15cm から 5cm へと下げた。

→一枚一枚の高さが高いと、部材が曲がりやすく

なるため、低くする事で部材の潰れを防ぐ。

- ③ 格子状の層を複数に増やす。
→層を複数にする事で、部材が避ける時に段階を踏むことができる。
- ④ 層を複数とする場合、上と下、層と層の間に、一枚ダンボールを入れる。
→段ボールの構造に則って、層をサンドイッチする事で、強度を高める。
- ⑤ 帯状のダンボールを、二枚重ね、三枚重ねとした→厚みが増すことで、一つ一つの帯状の段ボールの強度を高める。

そうして作られた床材が、図 2 の写真である。

<この部材の概要>

縦×横：600mm×600mm

高さ：175mm（各層 50mm×3、敷板 5mm×4）

内部：50mm 間隔で、5mm のダンボールを格子状に組んだ。縦と横では繊維方向を変え、2 層目も他の層と繊維方向を変えた。

部材位置：高さ 150mm



図 2 三層に組んだ格子状段ボール

<強度実験>

図 3 の写真のように、スパンを 400mm で部材を配置し、59.7kg～81.1kg（訳：59.7、63.3、64.7、70.8、81.1（全て単位は kg））の人を交代で乗せていった。天板の部分が多少へこんだ（湿気が主な原因である）が、たわみは 0 であった。次に、81.1kg の人を乗せ、その上でジャンプをしてみたが、結果は同じであった。



図 3 人を乗せた強度実験

そして、59.7kg～81.1kg（70.8 は除く）の人が順に乗る実験を行った。

$59.7 + 63.3 + 64.7 + 81.1 = 268.8\text{kg}$

部材は破壊を起こさず、たわみは 0 であった。

スパン間隔を 450mm で試してもみたが、結果は同じであった。

その後、床材の大きさを 1800×1800mm としたものを製作した。この床材の改良点は、帯状の部材を三枚重ねにした事であった。

この部材には、24 人の人が乗る事が出来る。一人一人の体重を 60kg と仮定し、その上に 24 人の人が乗るとすると、 $60\text{kg} \times 24 = 1440\text{kg}$ の荷重を支える。その上で 24 人の人がジャンプをすると、 $1440\text{kg} \times 3 \text{ 倍} = 4320\text{kg}$ となる。



図 4 三枚重ねの帯状部材 24 人を乗せた

気になるのが、この部材の実験結果であるが、部材は破壊しなかった。それは、記録的な結果であった。

この実験結果より、段ボール城製作への兆しが見えてきた。2008 年の 6 月のことである。ただ、これはあくまで床材の実験。段ボール城の一部でしかない。城として実現させるには、まだ検討すべきことがたくさんあった。次に行うのは梁の実験。それと同時に、城の図面製作にも取り掛かった。

2・3 積層した段ボール梁

梁という部材は、屋根などを支える為に必要な部材である。今回は、段ボールを何枚も張り合わせて積層して、梁を製作した。

<梁の強度実験>

断面（b×h）：90mm×240mm（7.5mm×12 枚）

長さ：1800mm

中芯の方向は、全て縦で揃えた。

部材位置：高さ 150mm

部材の配置スパンは、1600mm。初めに、59.7 の荷重が、梁の上を歩いた。その後、中央で立ち止まり、ジャ

ンプを行ったが破壊せず。たわみは 0。



図 5 梁の強度実験

次に、59.7kg と 63.3kg (123kg) の人が、両端から歩き中央で合流。その時のたわみは 2。ジャンプをした時、たわみは 7 であった。そして、64.7kg と 81.1kg (145.8kg) の人で実験。中央での合流では、たわみが 6 で、ジャンプでは破壊に至った。亀裂の入り方は、60 度の角度をつけた。



図 6 破壊した段ボール製の梁部材

次に、59.7kg と 63.3kg (123kg) の人が、両端から歩き中央で合流。その時のたわみは 2。ジャンプをした時、たわみは 7 であった。そして、64.7kg と 81.1kg (145.8kg) の人で実験。中央での合流では、たわみが 6 で、ジャンプでは破壊に至った。亀裂の入り方は、60 度の角度をつけた。

<破壊原因>

部材の中央上部からの圧縮力によりたわみが生じ、部材中央下部に生じた引張力により破壊に至った。また、長辺方向にかかる軸方向力より短辺方向にかかる軸方向力が弱い事も、破壊原因の要因の一つである。

<60 度の角度をつけて破壊した理由>

通常、梁の内部には、図 7 のような応力がかかっている。せん断力（ずれ）と曲げ（回転）力が同じとき、45 度の角度をつけて梁は破壊する。しかし、今回は何らか

の原因（段ボールの破損等）により、60 度に破壊してしまった。



図 7 梁内部の応力のかかり方

梁の場合は床材と違って、不特定多数の人が乗ることではないので、1 本に対してそこまで大きな荷重を支える必要はない。そのため、実験結果で出た 145.8kg という数字が出ていれば十分である。実際上階を支えるには、複数の梁が必要となるため。力が分散されるからである。

今回の、この積層した梁は、映画本編の中で段ボール製の柱と梁として取り入れられる事となった。磯見美術監督が積層した段ボールの断面を見て「この断面が趣があっていいんだな」と言った時は、嬉しく感じた。自分たちの努力や苦労が無駄ではなかったという思いがこみあげてきた。手探りで、自分たちなりに考え、積み重ねてきて良かったと思った。

2・4 段ボール城のデザインーなぜ安土城？ー

大学際での発表に向けて段ボール築城の工学的実験を始めたのは、2008 年 5 月であった。築城の工学的実験をする場合に欠かせないのが、どういう城を築城するか、ということである。映画製作に伴った実験であるので、本来ならば、「築城せよ！」に登場する「猿投城」のデザインにすべきなのであるが、この時点では猿投城のデザインは出来上がっていなかった。オリジナルにするという案も出たが、これに先立って 2 月に古波津監督とメールでやりとりした時に、監督が「主人公の武将、恩大寺隼人将は、一度織田信長に会ったことがあり、安土城に憧れて天正 11 年に猿投城の築城をした」という裏設定がある事を語っていたのを思い出し、デザインは安土城にしようと思った。しかし、安土城は 7 層目まで存在し、実際にその高さまで作ると人が入れなくなる。そしてスケールもおかしくなるため、最上部の 6 層目と 7 層目を製作する事とした。

2・5 段ボール安土城設計図-設計図からは見えない苦勞

2008 年 6 月頃から、設計図作成に着手した。遅くとも、8 月には着工しないと大学祭までに間に合わない。

まだ構造実験の結果が出ていない中、設計図を作成していった。

図面は、内藤昌案による安土城復原図を参考に作成した。しかし、実際木材で作る 1/1 サイズの城と同じ方法とはいかず、材料は段ボールであり、スケールを高さ 3m までに抑えないといけなかったため、大まかな形が出来るまで少し苦労した。

一つ事件が発生した。通常の建築のようなラーメン構造で行い、高さ 3m の城とすると、梁が見事に人の顔の位置を通過する。これでは人が入れない、入ったとしても頭とか顔をぶつけてしまう、という状況になった。そこで、高さを 4m まであげてみたが、梁は、人の頭のすぐ上を通った。これ以上高さを高くすると、組立作業に支障をきたすため、4m までが限界だった。ここで大きな壁にぶち当たった。

そのような時、ある方法を思いついた。それは、真ん中に心柱を立てて、梁を「登り梁」とする事だった。そうする事で、腰を屈める事無く、人が中に入ることが出来る。そうして出来た図面が、次の図 8 である。

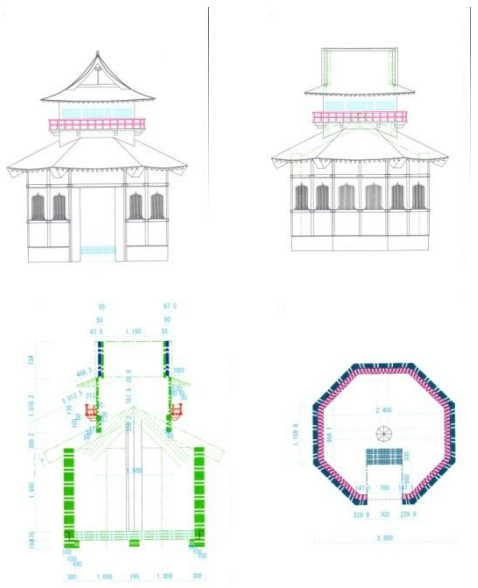


図 8 段ボール安土城図面

今回の城は、何度も展示できるように、組立て式で計画された。初めは、大学祭の日に炎上させる計画だったが、消防の関係で断念。ただ、組立式は、接合部の加工の仕方に相当頭を悩ませた。組立て易く、何度も使える接合方法にしなければいけなかった。壁と壁、壁と基礎、6 層目と 7 層目・・・大変な作業だった。ましてや、8 角形という複雑な形。製作が開始してから、細部の施

工計画は続いた。

2・6 いよいよ製作開始

2008 年 8 月 1 日より、製作がスタートした。目標は 2 ヶ月後の大学祭までの完成である。毎日 10 人程度という少人数での作業で、朝 9 時～夕方 5 時まで作業をし、その後の時間は、まだ未定になっている事の検討などを行なった。ホントに終わるのか、段ボールで城は建つのか・・・不安を抱かえながら、スタートを切った。

城の製作は床材の製作から入った。製作に最も時間がかかるのが、この床材だった。形状は 3 重 3 層。8 角形で、4 分割という手間のかかる作業だった。しかし、慣れている作業だからなのか、2 週間ほどで完成までこぎつけることが出来た。

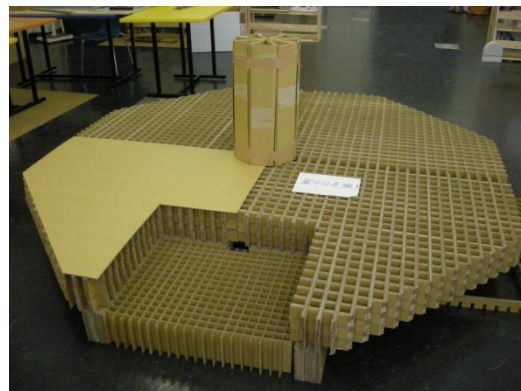


図 9 安土城 8 角形段ボール床材

そして、壁の製作に入る。しかし、ちょうどこの頃、映画本編の製作もスタートし、スタッフの作業は半分となってしまった。さらに、工程的にきつい作業にも入っていった。次に壁である。



図 10 段ボール安土城壁

壁の構造は、ダンボールを 30 枚ほど重ね合わせて製作した。30 枚というのは相当な数であり、相当な重量。

壁一つ作るのに、半日はかかってしまう。また、接合部の部分は、立てた時に不安定にならないように精度よく作る必要があった。壁を一枚作り終えた時、ある事に気が付いた。予想以上に重かった。何度も組立てできるようにするには、持ち運びの良さも要求される。そこで、真ん中に穴を開けて重量を軽減し、その穴を窓とした。元々の計画では、花頭窓を貼り付ける予定だったが、縦長の格子窓として、光を取り入れられるように変更した。

最も苦労した点は、7 層目の屋根をどのようにかけるのか、という事だった。入母屋造りなので、最低でも 3 つの部材に分かれてしまう。それをどのように組立て式の構造で、また、3m の高さの位置で接合するのかというのが大きな課題となった。金物を使えば、簡単に接合できるのだが、段ボール(紙)だけで作るというのは、最初に決めたルールである。それではどうするのか？と頭を悩めていた時、ひらめいた。フレームを組んでその上に屋根を乗せる、という事だった。屋根部分の壁を 7 層目の壁に多少内側にセットバックさせて差込み、その二つの壁の頂点を頭つなぎで繋いで、その上に大屋根をかける。庇屋根は、セットバックさせてできた隙間の上にかける。これで多少は安定するのであるが、風が吹いた時に庇屋根が飛んでしまうため、紙の紐を用いて固定する。紙の紐は多少妥協した点ではあるが、紙の紐なのでよしとした。



図 11 安土城第 7 層の屋根

作りながらも色々と問題点が浮上してくるのが物づくりである。その都度、解決策を練っていかなければならない。これは、作っている者たちが、いかにチームワークよく出来るかという所に大きく影響してくる。

9 月中旬、骨格が 8 割がた完成した頃、天守の仮組みを行った。今まで作ってきた部材が、綺麗に組めるかどうか検討するためだった。基礎、壁と組み立てていくうちに、やはり問題は起こる。基礎に壁がうまくはまらない。手作業で行っている以上、仕方のない事なのだが、

やはり悔しい。その不具合を是正して、本番では問題なく組み立てられるようにしないといけない。その日は、なんとか 6 層目は組みあがった。

次に降りかかってきた問題は、城の装飾だった。映画「築城せよ！」のシナリオの中で、「板張り？ 天守は、本瓦葺では面目がたたぬ」という勘鉄斎(武将)のセリフがある。そう、その通りである。そのため、今回の安土城も本瓦葺きで作る事にしたい。ただ、丸瓦をどうやって段ボールで表現するのかが問題である。「板で出来た段ボールを丸くして…」という事は、絶対に出来ない。映画の猿投城で使っていたロール芯を使おうかとも思ったが、サイズが合わず、重量もありすぎて断念した。段ボールを見つめ、どうやってやろう？と考える日々が続いた。そのような時、またひらめいた。段ボールは、ライナーという紙で、中芯を包んだ構造である。そうだ、このライナーを使えばいい。半円にした段ボールに沿わせてライナーを貼り付ける。それを段ボール製の平瓦の上に貼っていくと、本瓦葺きの完成である。

装飾は城の顔。ここを妥協しては、今までの苦労が水の泡になる。工程的に厳しかったが、装飾へのこだわりは持ち続けなければならなかった。そして 2008 年 10 月 10 日、安土城の全部材が完成した。

2.7 安土城完成-大学祭で展示された段ボール城-

10 月 12 日(土)、今日は待ちに待った学祭の日である。天気は曇り。しかし学校に着くと雨が降っていた。室内築城にしようという話が出たが、「やっちゃおうよ」と決断した。その決断が功を奏したのか、築城開始時間には晴れ間が出てきた。

いよいよ 10 時になり、築城開始！ まず部材を全部築城場所に運び、それと同時に地ならしをして、ならされた地面にダンボールを敷き、その上に基礎を並べる。



図 12 大学祭での第 6 層の壁組み立て

その後、昼休憩を挟み、6 層壁の建方に入った。前回の問題点を上手く克服し、柱、梁と順々に進んでいった。



図 13 安土城第 7 層の壁の組み立て

ところが、ここで昼食時から吹き荒れていた風が猛威を振るうようになり、7 層に入った時にはもう既に突風といっても過言ではないほどの風になった。それでも作業は進み、ついに 7 層に屋根がかかった。欄干を取り付け、6 層部分に屋根をかけるところでまた事件が起こった。



図 14 安土城第 7 層の屋根の組み立て

事件とは、突風が 7 層屋根を持ち上げそのまま地面に落下させてしまうというとても危ない自然災害であった。近くに人がいたが、人には当たる事はなく一安心であった。しかし、築城は一時中断せざるをえなかった。室内築城かと思われたが、風の受け難い場所に移動して再築城が行われた。建物の影に隠れて風も弱まり、急ピッチで作業が再開された。風の問題を克服した私たちには、もう敵はいなかった。ただ、着々と組立てていくだけであった。気付けば 6 層屋根で、最終確認を済ませ安土城は落成した。

完成した城は、青空に聳え建ち、満足げな表情を見せていた。製作した学生達も、その完成した城を見て感無量であった。中には泣いている学生もいた。この半年間の苦労を思い出したのかもしれない。その一瞬は、この半年間の作業の成果が、見学者の目に触れる瞬間であった。この時得た感動は、一生忘れないと思われた。



図 15 空に聳える安土城の第 7 層

2 日目になって、映画「築城せよ！」の古波津陽監督、ヒロインの海老瀬はなさん、衣装の SERIKA さん、メイクの Nico さん、戸山剛ラインプロデューサーらが、撮影の合間に段ボール安土城を見に来た。だれもが、「凄い！」と声を発し、嬉しそうな表情を浮かべていた。夕方には、磯見美術監督率いる、美術チームも撮影現場から引き上げてきて、見に来た。映画の猿投城を築城する美術班の棟梁である若吉浩司氏は「負けたわ」と一言、言った。築城に苦労している人の、身に沁みる一言であった。磯見美術監督たちの見守る前で、解体した。

段ボール安土城の実験研究は、平行して行われた映画「築城せよ！」本編のなかに、猿投城の構成部分として採用されていった。特に映画完成後、撮影のために大いに貢献することができた。2009 年 1 月に猿投城築城部分で追加撮影を行うことになったが、肝心の猿投城は 2008 年 11 月に撮影終了後完全に解体してしまっており、屋根の鯨と大広間の襖絵が残るのみで他に何も残っていなかった。そこで、猿投城の築城の作業風景として撮影されたのは、段ボール安土城であった。

3. おわりに

4 月の強度実験から始めて半年が経過し、段ボールで出来た安土城が見事に完成した。時の流れは早いもので、その半年の間に、さまざまな試練、問題が山積みであった。それを一つ一つ乗り越え、段ボールで安土城を完成させた事は、どんな問題にも真正面からぶつかって、解決してきたからだと思っている。それも、この城作りに協力してくれた、愛知工業大学建築研究会のメンバーの力があってこそだと思う。

建築研究会は、学年も多様で、多様な学生で構成されている。先輩と後輩が入り混じって作業した。その作業も、通常の設計の授業では味わえない作業で、自分たちが設計したものを実際に自分たちで作るという事であった。材料も与えられるのではなく、自分たちの手で実

験して、建築材料として使えるかを検証しながら、ものづくりをした。自分たちの手であらゆることを手探りながら、試みて、建築の分野は、設計、施工、構造、歴史という単体の分野では成り立たないという事を体感した。いわば、建築の本質を体感しながら、目標とした築城を成し遂げることができたのである。

大学祭当日は、沢山のマスコミの記者や見学者の前で段ボール安土城のお披露目となった。半年間という長い間には、辛いことがたくさんあった。しかし、建築研究会全員が感じてくれたと思うのであるが、この城の完成は、辛かった体験も、良い思い出になるということを教えてくれた。何か物づくりを行おうとする時、いかにその準備がされているかが勝負になってくる。それは辛い事が増えるという事に繋がるのであるが、完成した時の感動はより大きなものになるのではないと思う。

物づくりは一人では出来ない。多くの人の協力があって、初めて成り立つものである。段ボール城製作という企画は、あまり知識の無い中での挑戦であり、また、未知の世界への挑戦であったので、かなり無謀だったと思われる。しかし、この城は、建築研究会のチームワークで作上げたことの最大の証である。この築城に関わった仲間たちを誇りに思い、互いに大切にしたいと思う。

最後に、この実験研究を行う上でご協力いただいた、映画製作関係者の方々や愛知工業大学の先生方に御礼を申し上げたい。そし映画「築城せよ！」の猿投城築城のためばかりでなく、この安土城築城のためにも段ボールの提供を惜しなかったレンゴー株式会社に厚く御礼を申し上げる。

尚、本研究の実験結果については、研究成果の一部を映画「築城せよ！」上映パンフレット（築城せよ！製作委員会発行）に発表したが、本研究報告は本研究の全体像の報告である。



図 16 完成した段ボール安土城 6 層 7 層



図 17 段ボール安土城の前で記念撮影
(受理 平成 22 年 3 月 19 日)